Цена 06 коп.

В. А. Зайцев
В. А. Третьяков



Срок службы радиоламп



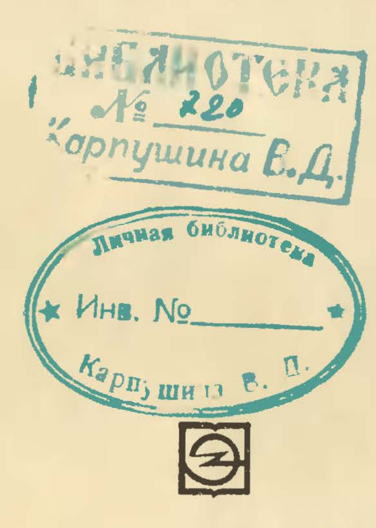


МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 601

В. А. ЗАЙЦЕВ, В. А. ТРЕТЬЯКОВ

СРОК СЛУЖБЫ РАДИОЛАМП



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА 1966 ЛЕНИНГРАД

УДК 621.384.004
З12

Рассматриваются вопросы правильной эксплуатации электровакуумных приборов с целью увеличения их срока службы и надежности, даются практические рекомендации.

Брошюра рассчитана на широкий круг радиолюбителей-конструкторов.

Зайцев Виталий Алексеевич, Третьяков Виктор Афанасьевич

Срок службы радиоламп.
М.—Л., изд-во «Энергия», 1966.
24 стр. с илл. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 601)

3-4-5
364-66

Редактор *Ю. Л. Голубев* Техн. редактор *О. П. Печёнкина*

Обложка художника *А. М. Кувшинникова*

Сдано в набор 30/XII 1965 г. Подписано к печати 23/III 1966 г. Т-04049 Бумага $84\times108^1/_{32}$ Печ. л. 1,26 Уч.-изд. л. 1,55 Тираж 100 000 Цена 06 коп. Зак. 5

Владимирская типография Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР
Гор. Владимир, ул. Победы, д. 18-б

ВВЕДЕНИЕ

Многочисленные статистические данные показывают, что лампы являются наименее надежными элементами радиоаппаратуры. Несмотря на то, что они составляют не более 10—15% всего количества элементов, число отказов по их вине часто превышает 50% всех отказов.

Известно, что электронные лампы могут работать годами, не выходя из строя и не нарушая работоспособности радиоаппаратуры. В то же время каждый радиолюбитель наверняка встречался с такими случаями, когда только что поставленная лампа не может проработать и нескольких недель. Досадный факт. И обычно в таких случаях мы сетуем на завод-изготовитель. Правильно ли это?

При конструировании радиоаппаратуры необходимо помнить, что долговечность большинства современных ламп, гарантируемая заводом-изготовителем, составляет примерно 500—1 000 *ч*, а для ламп повышенной долговечности (серия Е) — 5 000—10 000 *ч*. Это, однако, не означает, что каждая лампа способна проработать указанный срок. Завод гарантирует не индивидуальную долговечность каждой лампы, а некоторую среднюю долговечность ламп данного типа, получаемую путем проведения испытания на долговечность партии ламп при определенном проценте годности. Обычно процент годности ламп задается в пределах 90—98% от общего числа ламп,

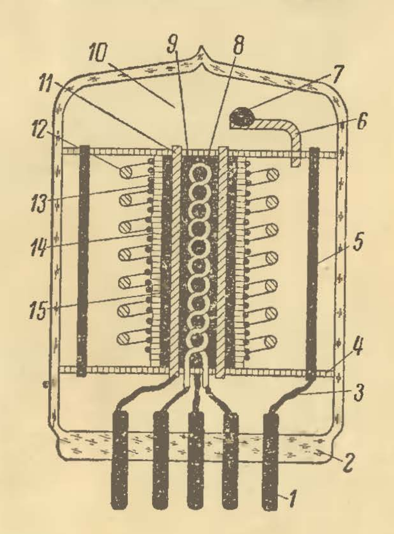


Рис. 1. Разрез электронной лампы. *1* — выводы (платина); *2* — баллон (стекло); *3* — токопроводы (медь); *4* — изолятор (слюда); *5* — анод (молибден); *6* — держатель газопоглотителя; *7* — газопоглотитель (фосфор, барий, магний); *8* — нить накала (вольфрам); *9* — изоляция катод — накал (алунд); *10* — остатки газов (кислород, азот, водород); *11* — катод (никель); *12* — сетка (сплавы НИВО); *13* — активный слой катода (барий); *14* — окислы бария, стронция, кальция; *15* — промежуточный слой катода (ортосиликат бария).

поставленных на испытание. По поводу же каждой отдельной лампы нельзя сказать, сколько часов она проработает. Можно лишь сказать, что вероятность того, что данная лампа исправно проработает свой гарантийный срок, равна 90—98%. Почему так происходит?

Дело в том, что современная радиолампа (рис. 1) насчитывает в своей конструкции до 20 различных металлов, сплавов, полупроводников, диэлектриков, а также различные газообразные продукты, не считая большого числа примесей и присадок в микроскопических долях, влияющих, и иногда очень сильно, на работоспособность лампы.

Надежность и долговечность ламп закладывается в процессе их конструирования и производства и в значительной мере определяется технологическим процессом, однако многое зависит и от правильной эксплуатации ламп.

Основной физический процесс в лампе — получение электронного потока и управление им — сопровождается различными побочными физико-химическими процессами, которые в конечном итоге и определяют надежность и долговечность ламп. Естественно, что в условиях эксплуатации нельзя повлиять на качественный характер этих процессов, но можно в значительной мере снизить их активность, если знать, как влияют различные факторы на работу лампы, и уметь ставить ее в наиболее долговечный режим.

Для сознательного подхода к вопросу эксплуатации электровакуумных приборов необходимо знать не только принцип их работы, но хотя бы в общих чертах и те физико-химические процессы, которые определяют их надежность и долговечность.

НАКАЛ. КАТОД

Узел нить накала — катод является основным элементом, определяющим надежность и долговечность ламп. От температуры катода в сильной степени зависит температура всех других электродов лампы, а следовательно, и скорость всех физико-химических процессов, которая повышается с ростом температуры. Поэтому весьма важно снижать температуру катода, не допускать его перегрева. В справочниках по электровакуумным приборам обычно приводятся величины наибольшего и наименьшего напряжения (в среднем 5,7—7 *в*).

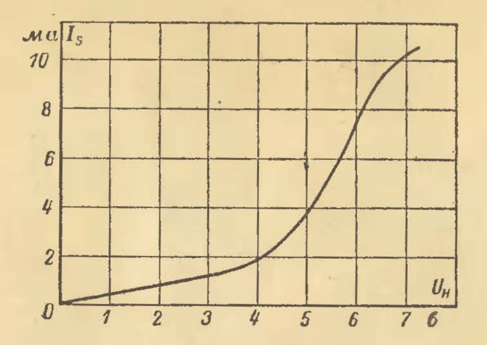


Рис. 2. Эмиссионная характеристика катода.

Наименьшее напряжение накала выбирается из условия падения тока эмиссии катода и крутизны в среднем на 30—50% от величины при нормальном напряжении накала. Для долговечности режим недокала является благоприятным и может быть рекомендован в ответственных схемах, где требуется значительный срок службы. При этом в процессе проектирования надо ориентироваться не на номинальные параметры лампы, а на параметры при выбранном пониженном напряжении накала, учитывая, что с понижением напряжения накала ток эмиссии катода падает довольно резко. Эмиссионная характеристика катода (рис. 2) имеет резкий перегиб при напряжении 4—5 *в*. Как видно из характеристики, работа лампы при напряжениях накала, меньших 4 *в*, малоэффективна, так как ток эмиссии снижается до 10% и меньше от номинального значения.

В табл. 1 приводятся значения крутизны характеристик некоторых распространенных типов ламп при пониженном и нормальном напряжениях накала.

Таблица 1

Тип лампы	Крутизна, *ма/в*, при напряжении накала 6,3 *в*	Крутизна, *ма/в*, при напряжении накала 5,7 *в*
6С3П	1,5	1,3
6С4П	1,5	1,3
6С15П	34	25
6С28Б	14	11
6С37Б	12	11
6Н1П	4,4	3,8
6Н2П	2,1	1,4
6Н3П	5,9	4,9
6Н6П	11	7
6Н14П	6,8	5,7
6Н23П	12,7	8,5
6Н5С	4,4	—
6П1П	4,9	—
6Ж1П	5,15	3,4
6Ж5П	9,3	—
6Ж9П	17	12

При использовании лампы в глубоком недокале необходимо помнить, что у лампы с недостаточно хорошим вакуумом (меньше $5 \cdot 10^{-5}$ *мм рт. ст.*) понижение напряжения накала повышает интенсивность отравления катода вредными газами, так как при этом замедляются процессы, способствующие активации оксидного слоя. Поэтому при использовании ламп в недокальном режиме необходимо снижать одновременно анодно-экранные напряжения с целью уменьшения вероятности газовыделения за счет бомбардировки электронами анода, слюды и стекла колбы.

Значение максимального напряжения накала, приводимое в справочниках, обусловливается как раз долговечностью электронных ламп. При повышенном напряжении накала, т. е. при повышенной температуре катода, значительно усиливается рост промежуточного слоя катода, а также происходит процесс усиленного испарения активного слоя катода и осаждения его на аноде и сетке. Процесс газовыделения из элементов конструкции также усиливается, так как повышается их температура. Еще заметнее повышение напряжения накала влияет на долговечность кинескопов. Так, при увеличении напряжения накала до 6,8 *в* срок службы кинескопов уменьшается на 40%. При еще более повышенных напряжениях накала кинескопы выходят из строя в первый год работы даже при нормальной их эксплуатации.

При расчетах трансформаторов накала ламп необходимо помнить, что напряжение сети может колебаться в пределах от +20% до —20%, что соответствует изменению напряжения накала на

±1,2 *в*. Таким образом, только из-за колебаний напряжения сети напряжение накала может изменяться в пределах 5,1—7,5 *в*. Если уменьшение напряжения накала в определенных пределах не так опасно в смысле долговечности, то повышение, особенно периодическое, оказывает губительное влияние на лампу. Поэтому желательно обмотки накала рассчитывать не на номинальное напряжение, а на несколько пониженное в пределах 5,8—6 *в*, при этом, конечно, необходима стабилизация напряжения накала, так как в противном случае при пониженном напряжении сети лампа может оказаться в глубоком недокале. Радиолюбителям целесообразно применять переменный режим питания нити накала: сначала первые 1 000—1 500 *ч* давать 5,7 *в*, затем, по мере потери эмиссии, постепенно повышать напряжение накала. Для этого необходимо при намотке трансформатора питания предусмотреть отводы у накальных обмоток.

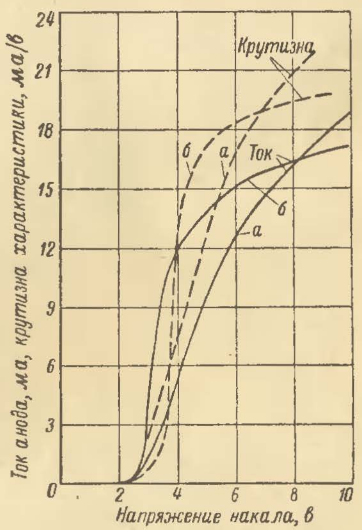


Рис. 3. Зависимость анодного тока и крутизны лампы БС28Б от напряжения накала.

При использовании ламп в недокальном режиме целесообразно охватить каскад, в котором работает данная лампа, отрицательной обратной связью по постоянному току. Наиболее простой и широко распространенный способ задания отрицательной обратной связи — это использование автоматического смещения. В этом случае сопротивление в цепи катода служит не только для задания напряжения смещения, но и является элементом отрицательной обратной связи, стабилизирующим режим лампы. На рис. 3 показаны зависимости анодного тока и крутизны лампы 6С28Б от напряжения накала при фиксированном (кривые *а*) и автоматическом (кривые *б*) смещениях. Из графиков видно, что при автоматическом смещении параметры лампы менее резко зависят от напряжения накала, чем в случае фиксированного смещения, когда отрицательная обратная связь по постоянному току отсутствует.

В особо ответственных схемах рекомендуется стабилизировать ток накала феррорезонансными или электронными стабилизаторами. Весьма простым способом стабилизации тока накала является использование бареттеров.

В еще более ответственной аппаратуре, кроме перечисленных мер, идут на индивидуальную подгонку напряжения накала под лампу. Если при массовом производстве это невозможно, то в радиолюбительских условиях это вполне разумная мера, особенно в отношении таких дорогостоящих приборов, как кинескопы.

Дело в том, что параметры и долговечность катодов определяются их температурой, последняя же зависит не только от мощности накала, но и от характера теплоотвода. Даже у одной партии ламп одного типа наблюдается значительный разброс характеристик теплообмена. Следствием этого является значительный разброс температуры катода у ламп одного типа. Если добавить сюда то обстоятельство, что температура вдоль катода меняется от точки к точке у каждой лампы по-разному и что подогреватели ламп одного типа имеют разброс по сопротивлению нити накала, то становится понятным, что даже при одинаковом напряжении накала фактическая температура катода, определяющая важнейшие характеристики ламп, будет различной у каждой лампы. Даже при номинальном напряжении накала еще нет уверенности в том, что температура катода не превышает нормальную.

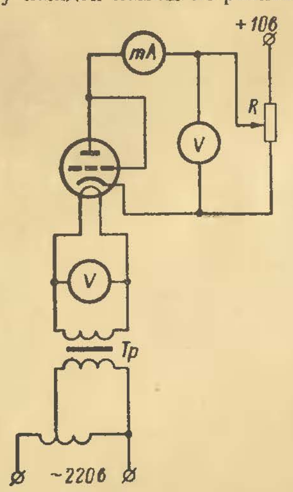


Рис. 4. Схема для определения температуры катода.

Для установления правильного напряжения накала необходима оценка температуры катода.

В радиолюбительских условиях температуру катода с достаточной точностью можно определить с помощью несложной схемы (рис. 4).

Подавая с помощью потенциометра R напряжение 3—5 *в*, замечают величину начального тока I_0. Затем, увеличивая напряжение на несколько вольт ΔU_a =3—5 *в*, отмечают приращение тока ΔI_a, далее ведут расчеты температуры катода по формуле

$$T^{\circ}\text{K} = 0{,}12 \cdot 10^6 \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} I_0,$$

где ΔI_a и I_0, *мка*.

Проделывая такие измерения для нескольких напряжений накала $U_н$, можно найти напряжение, соответствующее номинальной температуре катода. Номинальная температура катодов ламп — в пределах 900—950° С, а температура катодов кинескопов — около 860° С.

В практике иногда необходимо включать подогреватели ламп последовательно. Разброс сопротивлений подогревателей при их последовательном включении приводит к разбросу напряжений накала, что снижает срок службы ламп, особенно при отклонении напряжения сети от номинального значения. Испытание некоторых типов миниатюрных ламп на долговечность при последовательном включении подогревателей показало, что в этом случае число отказов ламп вырастает в 3—5 раз по сравнению с типовым режимом. В этом случае причинами отказов являются, как правило, перегорание нити накала, короткое замыкание между катодом и подогревателем и существенное ухудшение параметров ламп.

Нагреватель является наиболее горячей частью лампы, поэтому он чаще всего выходит из строя вследствие перегорания либо обрыва, так как механические характеристики нагретого металла значительно хуже холодного.

Иногда в радиолюбительских условиях можно восстановить работоспособность ламп. Например, в некоторых лампах 6П13С (кинескопах) наблюдается перегорание проволочек накальных выводов внутри ножек цоколя, что приводит к периодическому или полному разрыву цепи накала. В этом случае неисправность можно устранить, пропилив ножки накала в нескольких местах и залив пропиленные места расплавленным припоем. Часто обрыв нити накала и других электродов происходит у самого основания колбы (у ламп серии С). В этом случае необходимо, нагрев штырьки цоколя, снять панельку со штырьками. Затем оборвавшуюся проволоку заменить новой (лучше всего в этом случае подходит швейная игла). Собрав цоколь, разогретым паяльником вдавливают конец иглы до надежного соединения с проводником у основания колбы.

Иногда удается ликвидировать обрыв нити накала путем кратковременной подачи на накал повышенного напряжения до 300 *в*. Для этого необходимо от источника анодного напряжения зарядить электролитический конденсатор емкостью 30—40 *мкф*, а затем разрядить его через нить накала. При этом в месте обрыва образуется дуга, приводящая к сварке оборванных концов подогревателя. Таким же способом удается иногда ликвидировать обрывы других электродов, например анода кинескопа при потере им контакта с аквадагом. Подавая кратковременным замыканием высокое напряжение на анод кинескопа, можно добиться образования проводящих мостиков, восстанавливающих контакт с аквадагом.

Аналогичным путем иногда удается ликвидировать короткое замыкание нити накала на катод. Прикладывая кратковременно между катодом и нитью накала напряжение до 250 *в*, можно путем значительного нагрева проводящих мостиков в алундовой изоляции разрушить их. Иногда удается ликвидировать короткое замыкание между катодом и накалом путем легкого постукивания по баллону лампы. Полезно при этом нагреть катод до повышенной температуры, кратковременно подавая повышенное напряжение (до 10 *в*).

Нередко замыкание катода с нитью накала происходит вследствие большого пускового тока в момент включения напряжения накала (холодная нить накала имеет малое сопротивление). При больших токах между нитями накала возникают большие электродинамические силы, которые деформируют катод и способствуют коротким замыканиям. С этой точки зрения полезно производить как можно меньше включений ламповой аппаратуры.

Существенной причиной недолговечности катодов некоторых типов ламп является неравномерный отбор тока с них. Дело в том, что рабочая поверхность активного слоя катода не сплошная, а состоит из отдельных активных участков — доменов, ток эмиссии с которых не одинаков. При больших токах катода эмиссия с некоторых участков катода может достигнуть большой величины, что приводит к перегреву и разрушению этих участков. В связи с этим интересно отметить определенную связь между долговечностью катода и величиной шума мерцания лампы.

Шум мерцания ламп обусловливается как раз наличием на поверхности катода отдельных хорошо активированных доменных об-

ластей. Эмиссионная способность этих участков медленно изменяется со временем; кроме того, количество и величина самих доменных областей все время флуктуирует, домены возникают и разрушаются. Все это обусловливает медленные низкочастотные колебания тока катода, которые и определяются термином «шум мерцания». Чем больше шум мерцания лампы, тем более неоднороден катод по своей структуре, следовательно, тем менее он долговечен.

У кинескопов поверхность катода можно непосредственно наблюдать на экране. Если луч полностью расфокусировать на весь экран, то получающаяся картина будет качественно отражать эмиссионную поверхность катода. Хорошие катоды дают равномерное свечение экрана, при плохих катодах на экране наблюдаются отдельные темные пятна. Расфокусировка луча может быть получена или путем применения специальных расфокусирующих катушек, или же путем изменения потенциала фокусирующего электрода. Кадровая и строчная развертки при этом должны быть отключены (высокое напряжение должно подаваться).

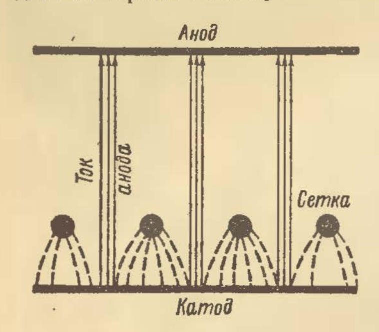


Рис. 5. Распределение потенциала в лампе.

Другой причиной неравномерного отбора тока с катода является островной эффект, который заключается в том, что при отрицательных напряжениях на управляющей сетке распределение потенциала в лампе получается таким, как показано на рис. 5. Вследствие этого участки катода, находящиеся непосредственно под витками сетки, оказываются под бóльшим отрицательным потенциалом по сравнению с участками катода, находящимися под промежутками витков сетки. Поэтому наибольший ток будет отбираться с участков катода, находящихся в просветах сеточных витков.

Если лампа работает в режиме больших отрицательных смещений на сетке и одновременно при большом анодном напряжении, то долговечность ее работы понижается за счет островного эффекта.

Еще заметнее этот эффект влияет на долговечность работы прямонакальных стержневых ламп, у которых наибольшую плотность тока создают те части катода, которые наиболее удалены от поверхности стержневой управляющей сетки. В этом случае плотность тока с отдельных участков катода может превосходить среднюю плотность на 40—60%, что приводит к резкому снижению срока службы ламп. Очевидно, что стержневые лампы лучше использовать в режимах с малыми токами.

Особенно сильно влияние неравномерного отбора тока с катода появляется у ламп с большой величиной сопротивления промежуточного слоя. В этом случае отбор тока с хорошо активированных участков вызывает местный перегрев вследствие прохождения тока через промежуточный слой

Влияние островного эффекта ощутимо также и в кинескопах, у которых управляющая сетка — модулятор — представляет собой металлический цилиндр с отверстием. Во время работы кинескопа электронный луч создается в основном поверхностью катода, расположенной под отверстием в модуляторе.

При повышенных напряжениях на аноде кинескопа рабочая поверхность катода становится малой, что приводит к повышенному токоотбору с этой части катода, а тем самым к снижению долговечности кинескопа.

Однако вредно не только повышенное напряжение на кинескопе, но и пониженное. Для большинства кинескопов необходимое напряжение анода составляет 10—13 *кв*. При напряжениях на аноде кинескопа 8—10 *кв* хотя и облегчается режим работы выходной лампы строчной развертки (6П13С), зато значительно снижается яркость свечения экрана (до 40%). Для того чтобы повысить яркость, приходится при этом увеличивать ток катода, что резко сокращает срок службы кинескопа. Иногда радиолюбители неправильно производят установку магнита ионной ловушки, когда при полностью введенном регуляторе яркости добиваются свечения экрана. При этом оказывается, что большая часть электронного луча не проходит через диафрагмы в оптической системе. Яркость экрана получается малой, что заставляет еще больше увеличивать ток катода. При этом большая часть электронов бомбардирует детали оптической системы, вызывая газовыделение. Все это резко сокращает срок службы кинескопа, и понятно, почему иногда у одного радиолюбителя кинескоп работает долго, а у другого быстро выходит из строя.

Радиолюбителям полезно знать, что не всегда нужно выбрасывать лампы, вышедшие из строя из-за потери эмиссии катода. Работоспособность таких ламп и кинескопов в большинстве случаев может быть восстановлена и таким образом срок службы их значительно продлен. Для этого необходимо на нить накала подать напряжение до 10 *в* в течение нескольких минут (3—5 *мин*). В этом случае происходит усиленная диффузия активного вещества из оксидного слоя катода на поверхность, что способствует активации катода. Таким путем может быть восстановлена эмиссия катода до приемлемого значения. В табл. 2 приведены данные для восстановления эмиссии некоторых ламп.

Таблица 2

Типы приборов	6Ж4, 6П3	6П13С, 6С3Б, 6С6Б, 6Ж8	6Н1П, 6Н8С, 6П6С	43ЛК2Б, 18ЛК4Б	6Ж1Б, 6Ж2Б, 6Н2П
Напряжение накала, *в*	9,4	9,5	9,5	9,6	9,7
Продолжительность обработки, *мин*	4—5	3—4	4—5	4—5	4—5

Для подачи повышенного напряжения накала удобно пользоваться лабораторным автотрансформатором. Напряжения на всех остальных электродах при этом должны отсутствовать.

ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ СЛОЙ КАТОДА

Во время работы лампы между активным слоем катода и металлическим керном растет промежуточный слой с высоким сопротивлением (рис. 6). Этот слой представляет собой смесь продуктов химических реакций оксидного слоя с примесями и присадками, содержащимися в керне катода. Основная составляющая промежуточного слоя — ортосиликат бария, обладающий высоким удельным сопротивлением. Интенсивность образования промежуточного слоя зависит от температуры катода. Промежуточный слой приводит к уменьшению действующей крутизны лампы.

Свободный барий
Окислы бария
Керн катода (никель)
Промежуточный слой катода (ортосиликат бария)

Рис. 6. Разрез катода.

Действие этого промежуточного слоя эквивалентно автоматическому смещению в цепи катода лампы, так как он обладает сопротивлением $R_{\text{пр}}$ и емкостью $C_{\text{пр}}$. Как всякое сопротивление в цепи катода, сопротивление запорного слоя является источником отрицательной обратной связи, в результате чего уменьшается крутизна лампы S и величина тока эмиссии катода.

Кроме уменьшения крутизны и тока эмиссии, промежуточный запорный слой значительно увеличивает внутриламповые шумы, как и всякое сопротивление в цепи катода.

Как отмечалось выше, интенсивность образования промежуточного запорного слоя резко увеличивается с ростом температуры катода, т. е. при перекалах, причем наихудшими являются условия перекала при малом токе катода, так как отбор тока препятствует росту сопротивления запорного слоя.

Особенно вредным в эксплуатации является чередование режима перекала и недокала, так как при перекалах резко растет величина промежуточного запорного слоя, но влияние его при этом меньше, поскольку он имеет полупроводниковый характер и, следовательно, его сопротивление при высоких температурах меньше. После перекала в недокальном режиме сопротивление промежуточного слоя возрастает, что ведет к резкому уменьшению действующей крутизны и тока эмиссии.

Это еще раз говорит о том, что на величину напряжения накала ламп следует обращать серьезное внимание, не допуская работу ламп в перекальном режиме и обеспечивая всегда режим недокала.

Особенно быстро происходит образование запорного слоя при работе лампы в импульсном режиме, так как при этом лампа бóльшую часть времени находится в закрытом состоянии, т. е. в режиме, который характеризуется интенсивным образованием запорного слоя.

Иногда лампу, работающую в импульсном режиме, ставят в режим неполного запирания в промежутках между импульсами. Это дает некоторое увеличение срока службы лампы, хотя экономически невыгодно, и, кроме того, непрерывный отбор тока в импульсном режиме подавляет импульсную эмиссию оксидного катода.

Таким образом, перекал ламп, работающих в импульсных режимах, особенно опасен. Каскады блокинг-генераторов, мультивибраторов и др. быстро выходят из строя при повышенных напряжениях накала. По тем же причинам при необходимости применять дежурный режим следует снижать напряжение накала до 30—40% от рабочего напряжения, особенно у ламп с недостаточным вакуумом и плохо активированным катодом. Для ламп с хорошим вакуумом (10^{-7}—10^{-8} *мм рт. ст.*) дежурный режим вполне допустим при номинальном напряжении накала и не приводит к значительному росту запорного слоя.

В процессе эксплуатации для правильного установления причин выхода лампы из строя полезно уметь проводить замеры величины сопротивления запорного слоя. При наличии генератора ВЧ это можно сделать путем замера крутизны на двух частотах $f_{\text{н}}$ и $f_{\text{в}}$.

Подходящей частотой $f_{\text{в}}$ во всех случаях является частота около 1 *мгц*. При измерениях на этой частоте фактически замеряется значение крутизны S_0 лампы без промежуточного слоя. Нижняя частота $f_{\text{н}}$ должна быть достаточно низка, чтобы на ней сопротивление емкости промежуточного слоя было намного больше величины сопротивления запорного слоя $R_{\text{пр}}$. В этом случае измеряется действующая крутизна S:

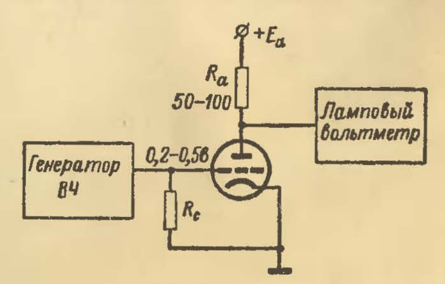


Рис. 7. Схема для измерения крутизны характеристики ламп.

$$S = \frac{S_0}{1 + SR_{\text{пр}}};$$

отсюда сопротивление $R_{\text{пр}}$ будет равно:

$$R_{\text{пр}} = \frac{1}{S} - \frac{1}{S_0}.$$

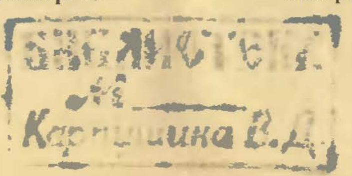
Метод измерения крутизны на переменном токе поясняется на рис. 7.

Начальное значение сопротивления запорного слоя у нетренированных ламп составляет несколько ом. После длительной эксплуатации, особенно в перекальном режиме, сопротивление $R_{\text{пр}}$ вырастает до значения 100—300 *ом* и более, что соответствует уменьшению крутизны лампы только за счет $R_{\text{пр}}$ на 40%, а у ламп с большой крутизной (более 10 *ма/в*) — до 60—70%.

ИЗОЛЯЦИЯ КАТОД — ПОДОГРЕВАТЕЛЬ

Алунд, изолирующий нить накала от катода, подвержен изменениям в процессе работы лампы. Вольфрам, образующий нить накала, диффундирует внутрь изоляционного слоя, образуя вольфрамат алюминия, который по своим изоляционным свойствам гораздо хуже, чем алунд.

Процесс образования вольфрамата алюминия идет значительно быстрее при положительном относительно катода подогревателе.



Постепенное накопление вольфрамата алюминия приводит к ухудшению изоляции катод — подогреватель, увеличению токов утечки и в конечном итоге — к пробою и короткому замыканию подогревателя и катода, причем это замыкание может происходить в нескольких местах, что приводит к шунтированию подогревателя, увеличению тока накала и перегоранию подогревателя.

Увеличение токов утечки катод — подогреватель влечет за собой увеличение шумов лампы. В кинескопах эти токи являются причиной значительного ухудшения четкости изображения и не должны превышать 100 *мка* для кинескопов с углом отклонения 70° и 30 *мка* для кинескопов с углом 110° при напряжении катод — подогреватель 150 *в*.

В большинстве схем источником напряжения катод — подогреватель является резистор в цепи катода.

При заземленном подогревателе все напряжение на резисторе $R_к$ прикладывается между катодом и подогревателем («минусом» к подогревателю). В схемах, где $R_к$ служит только для создания автоматического смещения, это напряжение (порядка нескольких вольт) не является опасным в смысле ускорения процесса образования вольфрамата алюминия, тем более что оно отрицательно по отношению к катоду. Но с этим напряжением уже необходимо считаться в схемах, где оно достигает 100 *в* и более.

Рис. 8. Каскодная схема на триодах.

Так, в ПТК всех современных телевизионных приемников используется каскодная схема на триодах (рис. 8). В этой схеме напряжение на катоде верхней лампы равно половине напряжения $E_а$, т. е. 90—120 *в*. Если накал заземлен, то это напряжение приложено между нитью накала и катодом и является положительным относительно подогревателя. Наличие этого напряжения вызывает появление токов утечки, что увеличивает уровень шумов, вызывает появление «снега» на экране и увеличивает опасность пробоя.

Поэтому желательно первый каскад питать от отдельной незаземленной обмотки.

Аналогичное явление встречается и в схемах катодных повторителей. При передаче импульсов отрицательной полярности (иногда и положительной) задается смещение на управляющую сетку до 50 *в* и больше.

Электронные стабилизаторы обычно работают по схеме, изображенной на рис. 9. При заземленном накале напряжение между катодом и накалом равно выходному напряжению. Такое большое напряжение (300—400 *в*) приводит к появлению токов утечки и в конечном итоге к пробою между катодом и подогревателем. Поэтому питание накала этих ламп необходимо производить от отдельных изолированных обмоток трансформатора питания.

В табл. 3 приведены значения токов утечки и допустимые величины напряжений для наиболее распространенных ламп.

Таблица 3

Тип лампы	Допустимая величина тока утечки между катодом и подогревателем, *мка*	Допустимое напряжение катод—накал, *в*	Тип лампы	Допустимая величина тока утечки между катодом и подогревателем, *мка*	Допустимое напряжение катод—накал, *в*
6С3П	20	—100	6Н23П	20	+250
		+160	6Н5С	150	±300
6С4П	20	—100	6П1П	30	±100
		+160	6П13С	100	±100
6С15П	1	±100	6П14П	20	±100
6Н1П	15	—100	6П15П	20	±100
		+250	6П18П	20	±100
6Н2П	15	±100	6П31С	50	±100
6Н3П	15	—100	6Ж1П	20	±120
		+150	6Ж5П	15	±100
6Н6П	30	+200	6Ж9П	20	±100
6Н14П	20	— 90			
		+250			

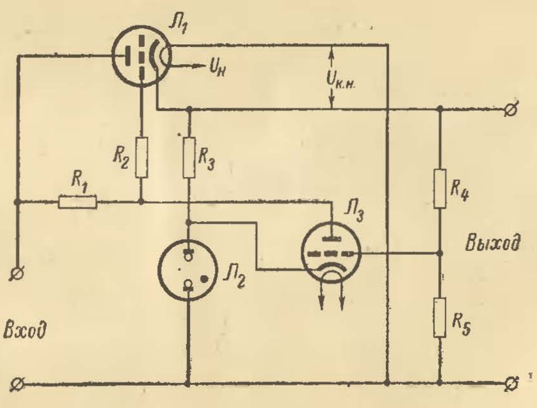


Рис. 9. Схема электронного стабилизатора.

АНОД. ЭКРАНИРУЮЩАЯ СЕТКА

Срок службы лампы в значительной мере определяется анодно-экранными напряжениями и мощностью, рассеиваемой на аноде и экранирующей сетке. Увеличение мощности, рассеиваемой на аноде и экранирующей сетке, приводит к усиленному газовыделению и, следовательно, к ускоренному отравлению катода. Значения предельных мощностей, рассеиваемых на электродах ламп, приводимые в справочных данных, устанавливаются, исходя из заданной долговечности при определенном проценте годности. Критерием долговечности

служат при этом параметры, определяемые эмиссионной способностью катода (крутизна, выходная мощность и т. д.). В условиях эксплуатации лампы, стоящие в маломощных каскадах усиления НЧ, УПЧ и УВЧ, обычно находятся в значительно облегченном режиме по мощности рассеяния, результатом чего является заметно повышенный срок их службы по сравнению с мощными выходными лампами, которые обычно работают в тяжелом температурном режиме с предельной мощностью рассеяния на аноде и экранирующей сетке вследствие стремления «выжать» из лампы максимальную выходную мощность. Снижение мощности, рассеиваемой на аноде и экранирующей сетке, у выходных ламп дает существенное увеличение срока их службы.

Снижение мощности, рассеиваемой анодом, может быть достигнуто либо путем уменьшения анодного тока, либо путем уменьшения анодного напряжения. Необходимо помнить, что эти два пути являются далеко не эквивалентными.

Дело в том, что бомбардировка электронами анода, слюды и стекла лампы сопровождается газовыделением. Электронная бомбардировка материала вызывает диссоциацию окислов, а также изменяет равновесие абсорбированных на поверхности газов; освобождаемый при этом кислород и другие газы отрицательно действуют на термоэлектронную эмиссию катода. Чем больше энергия бомбардирующих электронов, т. е. чем выше потенциал анода относительно катода, тем более интенсивно происходит газовыделение. Поэтому снижение мощности, рассеиваемой анодом, предпочтительнее производить путем уменьшения потенциала анода, а не путем уменьшения анодного тока У мощных выходных ламп и у кенотронов свидетельством усиленной электронной бомбардировки часто является свечение (флуоресценция) стекла колбы, которая ошибочно принимается иногда за газовый разряд.

У мощных выходных ламп типов 6П14П, 6П18П и др. вероятность газовыделения при бомбардировке слюды значительно снижена путем введения экранчиков по внутренней поверхности слюды. Наличие подобных экранчиков на слюде резко снижает вторичную эмиссию со слюды, тем самым увеличивая срок службы ламп и, кроме того, устраняя дефект изображения на экране кинескопов телевизоров («Темп-3», «Старт», «Рубин», «Знамя» и др.), выражающийся в появлении одной или нескольких белых полос вследствие сжатия двух или более строк

В некоторых схемах не удается избежать большого анодного напряжения. К таким схемам относятся прежде всего выходные каскады генераторов кадровой и строчной разверток. Во время обратного хода луча на аноде лампы блока кадровой развертки возникает значительный импульс напряжения — 1,5—2 *кв*, а на аноде лампы строчной развертки — 5—8 *кв*. Хотя это напряжение носит импульсный характер и ток через лампу в этот момент отсутствует, однако и в этом случае целесообразно для продления срока службы выходной лампы кадровой развертки уменьшать напряжение обратного хода путем включения варисторов типа СН-1-670 параллельно первичной обмотке выходного трансформатора кадровой развертки. Такой метод позволяет снизить напряжение на аноде выходной лампы кадровой развертки в 2—3 раза, однако он неприменим для выходных ламп строчной развертки, где напряжение обратного хода используется для получения высокого напряжения питания анода кинескопа.

Поэтому у этих ламп необходимо особенно тщательно следить за мощностью рассеяния на аноде и экране, не допуская перегрузок, которые могут возникнуть, например, при регулировках размеров изображения по горизонтали. Для уменьшения мощности, рассеиваемой на электродах лампы, и тем самым повышения срока ее службы целесообразно производить питание анодно-экранной цепи лампы 6П13С через делитель напряжения. Как показывает опыт, целесообразна замена лампы 6П13С в блоке строчной развертки на лампу 6П31С. При этом повышается срок службы лампы выходного каскада.

При конструировании аппаратуры часто возникает необходимость в параллельном включении ламп. При этом теоретически можно допускать мощность рассеяния на аноде каждой лампы такую же, как и для одиночной лампы. Однако мощность, рассеиваемая на анодах параллельно соединенных ламп, не делится поровну между ними из-за разброса параметров. Одна из ламп, нагруженная больше остальных, быстро выходит из строя, что влечет затем выход из строя всех остальных ламп. Поэтому при параллельном включении ламп необходимо снижать мощность рассеяния на аноде каждой из них.

Очень часто при параллельном включении ламп возникает самовозбуждение схемы из-за увеличения крутизны, что также приводит к повышению мощности рассеяния на анодах ламп. Для предотвращения этого явления рекомендуется включать в цепь сетки ламп антипаразитные резисторы сопротивлением 50—120 *ом*, которые необходимо располагать непосредственно у ламповой панельки.

УПРАВЛЯЮЩАЯ СЕТКА

Одним из основных критериев надежности и долговечности лампы является величина обратного сеточного тока, которая характеризует как вакуум лампы, так и процесс распыления активного слоя катода. Как известно, ток управляющей сетки обусловливается следующими причинами: перехватом сеткой электронов (прямой ток сет-

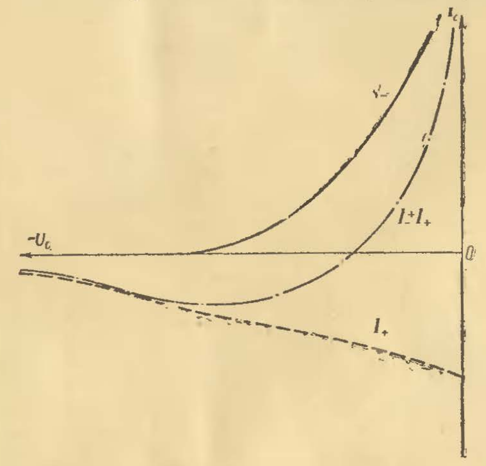


Рис. 10. Сеточная характеристика лампы

ки I_- на рис. 10); положительными ионами остатков газа (ионная составляющая обратного тока сетки I_+); термоэлектронной эмиссией сетки в результате напыления на сетку активного слоя катода и ее разогрева катодом (электронная составляющая обратного тока сетки I_+); прочими причинами (фотоэлектронная эмиссия, вторичная эмиссия, токи утечки).

Если прямой ток сетки, обусловленный перехватом пролетающих электронов, в основном определяется конструкцией лампы и мало изменяется в процессе ее эксплуатации, то обратный ток сетки изменяется в широких пределах и имеет тенденцию возрастать, поскольку вакуум лампы все время ухудшается, а активный слой катода распыляется. Поэтому величина обратного тока сетки и является одним из главных критериев надежности и долговечности лампы.

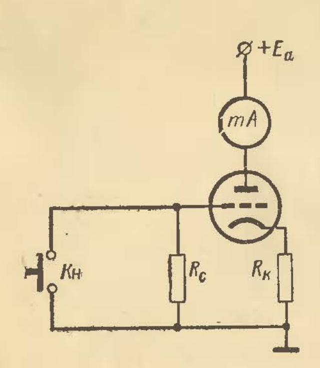


Рис. 11. Схема для определения качества вакуума в лампе.

В практике радиолюбителя удобно оценивать качество вакуума лампы непосредственно по изменению анодного тока с помощью схемы рис. 11.

При измерении по этой схеме необходимо установить требуемый режим (табл. 4) и заметить приращение анодного тока при размыкании кнопки *Кн*. Величина этого приращения для лампы с удовлетворительным вакуумом не должна превышать величин, указанных в табл. 4.

При эксплуатации лампы следует иметь в виду возможность лавинообразного нарастания анодного и сеточного токов лампы, приводящего к полному выходу лампы из строя. Это явление обусловлено своеобразной положительной обратной связью, осуществляющейся в лампе при больших сопротивлениях в цепи управляющей сетки. Обратный ток сетки уменьшает отрицательное смещение на управляющей сетке, что влечет за собой увеличение анодного тока. Последний увеличивает ионизацию остаточного газа, увеличивая тем самым обратный ток сетки, и т. д. С увеличением анодного тока увеличивается мощность, рассеиваемая на аноде, что способствует газовыделению. Процесс нарастания токов происходит лавинообразно и приводит к полной гибели лампы.

Таблица 4

Тип ламп	Напряжение анода, *в*	Напряжение экранирующей сетки, *в*	Сопротивление в цепи катода, *ом*	Сопротивление в цепи сетки, *ком*	Изменение анодного тока, *ма* (качество вакуума)
6Н3П	200	—	90	100	0,3
6Н6П	125	—	100	100	0,3
6Ж5П	275	150	150	490	0,6
6К4П	250	100	10	490	0,3
6П14П	250	250	130	100	1
6П15П	275	150	50	490	0,2
6И1П	250	—	10	50	0,3

Эффективная мера предотвращения подобных явлений — включение в цепь катода сопротивления автоматического смещения. У ламп с большой крутизной и там, где требуется большая стабильность работы схемы в течение длительного периода времени, применяют в цепи катода резистор сопротивлением, в несколько раз превышающим нормально требуемое, исходя из величины рабочего напряжения смещения.

В табл. 5 приводятся величины обратных сеточных токов и максимальных сопротивлений резисторов в цепи управляющей сетки для наиболее распространенных типов ламп.

Таблица 5

Тип лампы	Максимальная величина обратного сеточного тока, *мка*	Максимальное сопротивление резистора в цепи сетки, *Мом*	Тип лампы	Максимальная величина обратного сеточного тока, *мка*	Максимальное сопротивление резистора в цепи сетки, *Мом*
6С3П	0,3	1,0	6Н5С	2	1,0
6С4П	0,3	1,0	6П1П	1,0	0,5
6С15П	0,3	0,15	6П13С	2,0	0,5
6Н1П	0,5	1,0	6П14П	1,5	1,0
6Н2П	0,1	1,0	6П15П	0,7	1,0
6Н3П	0,6	1,0	6П18П	—	1,0
6Н6П	0,5	1,0	6П31К	5,0	—
6Н14П	0,1	1,0	6Ж1П	0,1	1,0
6Н23П	—	1,0	6Ж5П	0,3	1,0
			6Ж9П	0,3	1,0

ВАКУУМ

В процессе работы нить накала электронной лампы нагревается до высокой температуры — 1 200—1 400° С. Такая высокая температура приводит к нагреванию всех остальных элементов лампы: катода, сеток, анода, баллона. Кроме того, разогрев сеток, анода и баллона лампы усиливается еще и мощностью, рассеиваемой на электродах лампы во время прохождения тока. Несмотря на большие температуры деталей, в лампе должен сохраняться хороший вакуум — 10^{-6}—10^{-7} *мм рт. ст.*

В то же время нагретые детали лампы являются источником различных газов, содержащихся в толще и на поверхности материалов лампы.

Выделяющиеся газы нарушают нормальную работу катода, окисляя и связывая его активный слой, понижая эмиссионную способность, которая в конечном итоге определяет все важнейшие характеристики лампы: крутизну, выходную мощность, усиление и т. д.

Главной причиной ухудшения вакуума в лампе является неправильный выбор режима. Повышенное напряжение на аноде и экра-

нирующей сетке, повышенная мощность, рассеиваемая на электродах лампы, повышенная температура стекла — все это приводит к прогрессирующему ухудшению вакуума.

В конце концов наступает момент, когда газопоглотитель уже не может справляться с большим количеством выделяющегося газа и лампа выходит из строя. Для установления причин выхода лампы из строя важно уметь производить приближенную оценку степени вакуума.

У ламп, имеющих газопоглотитель в виде газопоглощающего зеркала на стекле баллона, можно судить о качестве вакуума по степени уменьшения газопоглощающего зеркала, которое при значительном источнике газовыделения в лампе из сплошного блестящего превращается в полупрозрачное, дымчато-молочного цвета.

Более точно можно судить о состоянии вакуума путем измерения импульса ионного тока при подаче на анод небольшого отрицательного напряжения по схеме рис. 12.

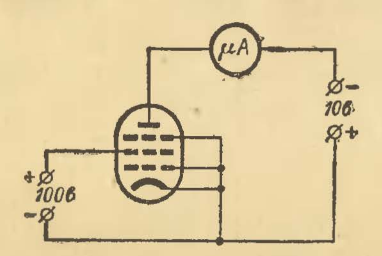


Рис. 12. Схема для определения качества вакуума ламп путем измерения импульса ионного тока.

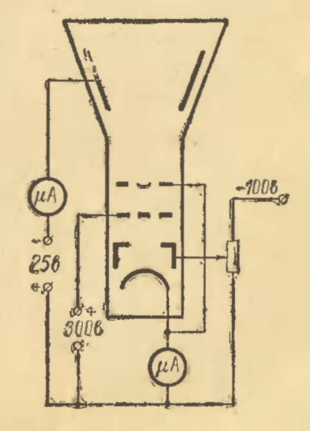


Рис. 13. Схема для определения качества вакуума кинескопов.

Положительные ионы, возникающие при ионизации остатков газа в результате протекания тока между катодом и экранирующей сеткой, собираются на отрицательно заряженном аноде. При измерениях по этой схеме ионный ток у хороших ламп не превышает 10 *мка.*

Схема измерения степени вакуума кинескопов приведена на рис. 13. Путем подбора напряжения на модуляторе устанавливают ток катода 250 *мка*, при этом для хороших трубок ионный ток не должен превышать 1 *мка.*

В процессе эксплуатации вакуум в лампе может быть улучшен путем прогрева газопоглотителя, активность которого при этом значительно повышается. Это может быть сделано путем кратковременного (в несколько минут) форсирования режима лампы (увеличение анодного тока и напряжения анода). Правда, такой способ не всегда дает желаемые результаты, так как при этом происходит и усиленное газовыделение.

Лучшим является способ прогрева газопоглотителя с помощью высокочастотного нагрева. Для этого необходим ВЧ генератор с выходной мощностью в несколько сот ватт.

Частота генератора выбирается в пределах 0,1—1 *мгц.* Диаметр высокочастотной катушки должен быть таким, чтобы в нее свободно проходила лампа. Катушка должна иметь 4—7 витков толстого медного провода диаметром от 4 до 8 *мм.*

Перед восстановлением вакуума на нить накала подается номинальное напряжение накала и лампа выдерживается несколько минут. Затем лампу вносят в высокочастотную катушку и производят прогрев палочки газопоглотителя в течение 20—40 *сек.* Это время выбирается индивидуально для каждой лампы с таким расчетом, чтобы газопоглотитель разогрелся до ярко-красного или желтоватого свечения. При этом газопоглотитель распыляется и осаждается на стекле баллона лампы. Распыление прекращается в момент потемнения баллона лампы.

Еще более рациональными и экономичными ВЧ источниками являются генераторы на импульсных водородных тиратронах типа ТГИ1-10/1,1, ТГИ1-35/3 и др.

Восстановленные таким путем лампы имеют нормальные характеристики и работают значительное время, причем такое восстановление вакуума может быть проведено несколько раз для одной лампы в процессе ее работы.

БАЛЛОН ЛАМП

Состояние стекла баллона ламп и его температура во многом определяют долговечность ламп, так как нагретое стекло является интенсивным источником различных газов. Интенсивность газовыделения увеличивается с ростом температуры.

При бомбардировке электронами стекла возникает вторичная электронная эмиссия, которая сопровождается усиленным газовыделением (пары воды, кислород, натрий, калий). В результате вторичной эмиссии потенциал стекла в том месте, куда попадает поток электронов, может достигать потенциала анода. При этом по стеклу текут выравнивающие токи, которые отрицательно сказываются на физическом состоянии стекла. В частности, эти токи приводят к дополнительному нагреву стекла. Поскольку стекло обладает полупроводниковыми свойствами, т. е. его сопротивление уменьшается с повышением температуры, то по мере его нагревания токи утечки все время возрастают. Это приводит к гибельному размягчению стекла, потере вакуума и выходу лампы из строя. Кроме того, наличие токов в стекле приводит к его электролизу, т. е. к перемещению ионов металлов (свинца, железа, натрия и др.), входящих в его состав. Это ухудшает структуру стекла, приводит к его механическому напряжению, трещинам и, как результат, к попаданию газа в лампу. Электролиз стекла часто проявляется около выводов лампы, где между штырьками имеются значительные потенциалы. Для иллюстрации влияния температуры на срок службы ламп на рис. 14 приведен график изменения вероятности исправной работы лампы при различной температуре стеклянного баллона.

В процессе проектирования радиоаппаратуры важно правильно выбрать режим питания с целью снижения температуры стекла, а также учитывать возможность тепловой экранировки, близость соседних горячих ламп и других источников тепла. Важно, чтобы все мероприятия были направлены на то, чтобы температура баллона не превышала предельную.

Наиболее распространенным стеклом для баллонов ламп является стекло марки ЗС-4, температура которого при работе лампы не должна превышать 250—300° С.

Не всегда удается снизить температуру баллона лампы путем снижения мощностей, рассеиваемых на электродах лампы. В таких случаях целесообразно применение радиаторов с большим лучеиспусканием и теплопроводностью.

Установка радиаторов на баллоны мощных выходных ламп значительно продляет срок их службы.

У ламп, имеющих большую температуру баллонов, нецелесообразно применение заводских экранов, служащих для крепления лампы, так как такие экраны препятствуют отводу тепла от лампы. Кроме того, в местах касания экрана со стеклом иногда наблюдаются пробои в стеклянной оболочке, которые вызываются небольшими токами 3—4 *мка*, протекающими через стеклянную оболочку.

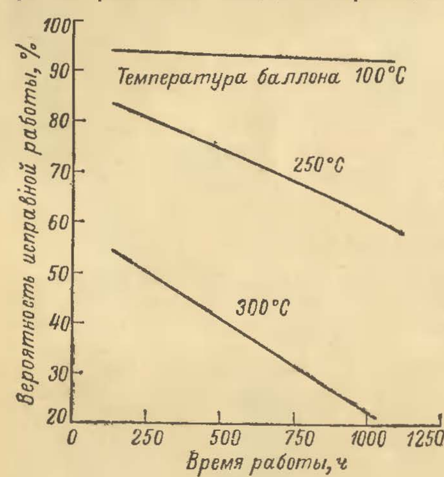


Рис. 14. Вероятность исправной работы лампы в зависимости от температуры стеклянного баллона.

Немаловажное значение имеет вопрос правильной расстановки ламп на шасси прибора. Лампы должны быть расставлены так, чтобы имелся свободный доступ для их съема и замены. В противном случае при постановке ламп в панельки возникают перекосы и, как следствие, трещины в стекле из-за механического перенапряжения. Особенно осторожного обращения требуют бесцокольные лампы.

Любая микроскопическая трещина в баллоне уже является потенциальным источником отказа лампы, даже если в данный момент проникновения воздуха через нее нет. При малейшем изменении внешних условий (температура, вибрация) микроскопические трещины приводят к выходу лампы из строя. У сверхминиатюрных ламп не рекомендуется сгибание выводов непосредственно у стекла, так как это ведет к его растрескиванию. Обрезать гибкие выводы у сверхминиатюрных ламп надо не ближе 4—5 *мм* и не паять их, а зажимать специальными планками.

ТРЕНИРОВКА ЛАМП

Как говорилось выше, в нерабочем состоянии в период хранения в лампе происходят некоторые физико-химические процессы, ухудшающие параметры лампы. Хотя в обесточенной лампе скорость этих процессов сильно замедлена, тем не менее их влияние на параметры

лампы, особенно в первое время работы, велико. В частности, материалы конструкции лампы медленно выделяют газы. Вакуум в лампе постоянно ухудшается, поэтому работа такой лампы в некоторых схемах (малошумящие усилители, измерительные усилители с высокоомным входом и др.) становится вообще невозможной. В таких случаях необходима предварительная тренировка ламп.

Предварительная тренировка ламп заключается в выдержке лампы в течение нескольких десятков часов под рабочим напряжением.

Отбор тока с катода в период тренировки способствует восстановлению активного слоя на поверхности катода за счет усиления диффузии из оксидного слоя вследствие повышения температуры и электролитического восстановления за счет прохождения тока.

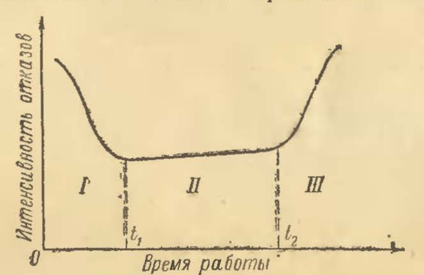


Рис. 15. Ламбда-характеристика ламп.

Таким образом, в период тренировки улучшается эмиссионная способность катода и, следовательно, эмиссионные характеристики лампы.

Для устройств, от которых требуется повышенная долговечность и надежность, тренировка ламп принципиально необходима. На рис. 15 изображена кривая, показывающая зависимость интенсивности отказов (относительная скорость выхода ламп из строя) от времени, называемая ламбда-характеристикой.

Характеристика имеет три ярко выраженных участка *I*, *II* и *III*. Участок *I* характеризуется повышенной интенсивностью отказов. В этот начальный период преобладают в основном внезапные отказы из-за некачественных материалов и несовершенства технологии. Участок *II* — это рабочий участок, где отказы вызываются главным образом закономерными процессами старения деталей и материалов. Участок *II* заканчивается участком *III*, где интенсивность отказов снова резко повышается за счет окончательного старения деталей и материалов.

СОДЕРЖАНИЕ